

## **ВЛИЯНИЕ ТИПА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЕЧЁННЫХ КОМПОЗИТОВ Al-Sn**

<sup>1,2</sup>А.Л. Скоренцев, к.т.н., магистрант гр. 4АМ1Ф, н.с.,

<sup>2</sup>Н.М. Русин, к.т.н., с.н.с.,

<sup>1,2</sup>Е.Н. Коростелева, к.т.н., доц., с.н.с.

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, 634055, г.Томск, пр.Академический,2/4, тел.(3822)-491-881

E-mail: [skoralexan@tpu.ru](mailto:skoralexan@tpu.ru)

Алюминиевые сплавы склонны к схватыванию со стальным контртелом при фрикционном контакте, и с целью его устранения в алюминий вводят олово в больших количествах. Несущая способность сплавов при этом снижается, и для её восстановления сплавы легируют веществами, которые при кристаллизации или последующей термообработке способны выделиться в виде твёрдых включений [1]. Например, алюминий легируют железом или кремнием. При охлаждении расплава растворимость указанных элементов снижается, и они выпадают в виде твёрдых интерметаллических частиц  $Al_3Fe$ , или чистого кремния во втором случае. Указанные частицы выгодно отличаются тем, что практически не взаимодействуют с оловом, поэтому не могут повлиять на пластичность его включений в сплавах Al-Sn.

Поскольку компоненты указанных антифрикционных сплавов сильно отличаются по весу, то при кристаллизации расплава возникает проблема равномерного распределения фаз по объёму отливки. Порошковая металлургия позволяет избежать указанных проблем, поскольку на всём протяжении спекания в прессовке существует твёрдофазный каркас, который ограничивает перемещение жидких компонентов. **Целью настоящей работы** исследование эффективности добавок Si и Fe на износостойкость сплава Al-40Sn, полученного спеканием. Массовая концентрация добавок кремния составляла 9 и 12%, а железа – 7%. Спекание проводилось в вакууме при остаточном давлении атмосферных газов не более  $10^{-2}$  Па. Испытания на износостойкость проводились по схеме «палец-диск» без смазки по стальному контртелу (Сталь 40X).

В результате спекания при 570 °С в эвтектических сплавах Al-Si-Sn и Al- $Al_3Fe$ -Sn формируется кластерная структура (рис. 1). В первом случае кластеры образованы скоплениями частиц Si с прослойками Al между ними, а во втором случае кластеры состоят из частиц алюминидов, связанных прослойками Sn. Вследствие однотипности структуры сплавов и близкого объёмного содержания фаз, механические свойства образцов также оказались близкими (табл. 1).

Результаты триботехнических испытаний образцов при сухом трении по стальному диску приведены в табл. 2. Здесь же представлены полученные ранее данные по износостойкости в аналогичных условиях спекённого двухфазного сплава Al-40Sn [2].

Из полученных результатов следует, что при увеличении концентрации кремния с 9 до 12% масс. износостойкость спекённого сплава Al-Si-Sn при сухом трении по стали существенно растёт. Упрочнённый алюминидом железа сплав после спекания при 570 °С демонстрирует несколько худшую износостойкость, чем сплав с 12% кремния, хотя его коэффициент трения по стали ниже. Исключение составляют данные по износостойкости сплава Al-7Fe-38Sn при низком давлении. Так, при давлении 1 МПа он изнашивается в 3 раза меньше, чем сплавы с кремнием или базовый сплав Al-40Sn.

Если указанный сплав нагреть до температуры плавления алюминиевой матрицы, то частицы алюминидов укрупнятся, а размеры образуемых ими кластеров снизятся. В результате износостойкость сплава немного повышается и становится наилучшей среди исследуемых материалов. При этом эвтектические сплавы Al-Si спекать при температуре

выше 577 °С нельзя из-за большого количества образующейся жидкой фазы. Увеличение времени отжига сплавов с кремнием приводит к укрупнению частиц твёрдой фазы, однако положительного влияния на их износостойкость это не оказало. То есть, важен не только размер составляющих кластеры частиц, но и их состав. При укрупнении алюминидных частиц высвобождается олово и перераспределяется по границам алюминиевых зёрен. Тогда как при укрупнении частиц кремния утолщаются разделяющие их алюминиевые прослойки, и упрочняющий эффект частиц снижается.

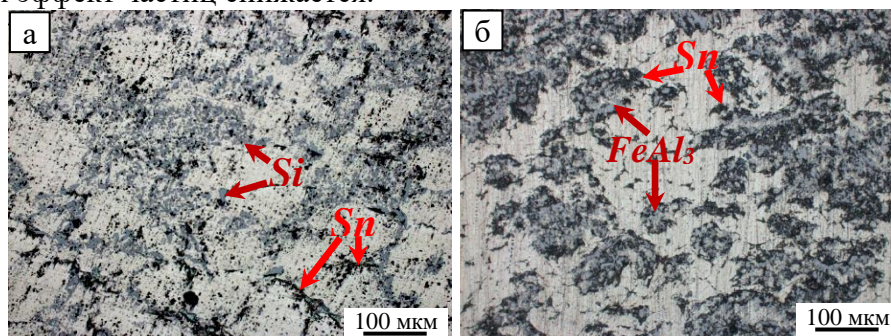


Рис. 1. Структура сечённых при 570 °С сплавов (Al-9Si)-40Sn (а) и Al-7Fe-38Sn (б).

Таблица 1. Механические свойства и пористость ( $\eta$ ) спечённого и подвергнутого горячей допрессовке (ГД) сплава Al-40Sn, упрочнённого кремнием и железом.

Сплав	Режим получения	$\eta$ , %	Механические свойства		
			$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\delta$ , %
(Al-9Si)-40Sn	570 °С (1 ч) + ГД	< 1	83	117	18
(Al-12Si)-40Sn	570 °С (1 ч) + ГД	< 1	91	119	> 20
Al-7Fe-38Sn	570 °С (1 ч) + ГД	< 1	101	126	18

Таблица 2. Влияние температуры спекания ( $T_{\text{сп}}$ ) и давления (Р) на интенсивность изнашивания ( $I_h$ ) и коэффициент трения ( $\mu$ ) сплавов. Скорость скольжения - 0,6 м/с.

Сплав	$T_{\text{сп}}$ , °С	$I_h$ , мкм/м				$\mu$			
						Р, МПа			
		1	3	4	5	1	3	4	5
Al-7Fe-38Sn	570	0,04	0,18	0,25	0,30	0,43	0,37	0,38	0,31
Al-7Fe-38Sn	710	0,10	0,17	0,21	0,22	0,45	0,36	0,34	0,32
(Al-9Si)-40Sn	570	0,14	0,34	0,37	0,36	0,51	0,42	0,32	0,26
(Al-12Si)-40Sn	570	0,12	0,18	0,23	0,26	0,60	0,43	0,42	0,35
Al-40Sn	600	0,13	0,20	0,23	0,25	0,64	-	-	0,31

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

- упрочнение алюминиевых сплавов с большим содержанием олова кремнием значительного влияния на их износостойкость при сухом трении по стали не оказывает;
- введение в указанные сплавы железа способствует значительному повышению их износостойкости при малых давлениях. При возрастании давления эффект железа незначителен, и проявляется после спекания образцов выше температуры плавления Al.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0006

#### Список литературы:

1. Миронов А.Е., Белов Н.А., Столярова О.О., Алюминиевые сплавы антифрикционного назначения. – М.: Изд. дом МИСиС, 2016. – 222 с.
2. Русин Н.М., Скоренцев А.Л., Коростелева Е.Н. Триботехнические свойства сплава Al-40Sn при сухом трении // Изв.вузов. Физика. – 2012. – № 5/2. – С.239–247.